

Кіреєнко В.В., Дзюбенко Ю.А., Опенько П.В.

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ІМОВІРНОСТІ ЗВ'ЯЗНОСТІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ НА ОСНОВІ ПОШУКУ МІНІМАЛЬНИХ РОЗРІЗІВ ГРАФІВ

Стаття присвячена побудові функціонально-стійкій системі передачі даних. Зважаючи на характер ієрархічної побудови системи передачі даних дослідження проводились за допомогою графової моделі, а саме розглядалися питання побудови оптимально-зв'язних структур. Математичною моделлю функціонально-стійкою системи передачі даних є неорієнтований граф з надійними вершинами та ненадійними ребрами. Також було показано, що при заданій кількості вершин та ребер, різним ймовірностями існування ребра можуть відповідати різні оптимальні структури графа. Для аналізу функціональної стійкості системи передачі даних запропонований імовірнісний показник, який обчислюється з урахуванням характеристик множини мінімальних розрізів графової моделі. Запропонований оптимальний алгоритм під час вибору топології функціонально-стійкої системи передачі даних. Алгоритм базується на використанні цільової функції мінімального розрізу графа, який дозволяє визначити мінімальну множину каналів відмова яких впливає на процес передачі даних між споживачами. Показано, що алгоритм доцільно використовувати під час вирішення задачі оптимізації топології мережі на етапі проектування за введеним показником, який визначає множину мінімальних розрізів граф-моделі та значення їх характеристик. Там же було показано, що для наближеної оцінки функціональної стійкості системи передачі даних з незначною втратою точності достатньо визначити повну сукупність мінімальних розрізів граф-моделі системи у відповідності з їх характеристиками. Наведений алгоритм дозволяє достатньо оперативно оцінити функціональну стійкість отриманої системи, а також дозволяє відносно оперативно отримати оцінку функціональної стійкості системи.

Ключові слова: *функціональна стійкість; система передачі даних; мінімальний розріз графа.*

Kireienko V.V., Dziubenko Y.A., Open'ko P.V.

National defense university of Ukraine, Kiev

TECHNIQUE FOR ESTIMATING THE CONNECTIVITY PROBABILITY OF DATA SYSTEM BASED ON THE SEARCH FOR MINIMUM SECTIONS OF GRAPHS

The article is dedicated to the construction of functionally stable system of data transmission. Taking into account the hierarchical structure of the system of data transfer, the study was conducted with the help of a graph model and the issues of optimally connected structures were addressed. The mathematical model of functionally stable system of data transmission is a non-oriented graph with reliable vertices and non-reliable edges. It was shown that with the given number of vertices and edges, different feasibilities of edge existence can correspond to different optimal structures of the graph. In order to analyze the functional stability of the system of data

transmission the feasibility indicator, calculated in accordance with the characteristics of a set of minimal incisions of the graph model, is proposed. There is an effective algorithm of solving the task of optimization of net topology on the stage of projecting with given indicator, which defines the set of minimal incisions of the graph model and the values of their characteristics. Also it was shown that for the rough estimate of functional stability of the system of data transmission with the slight loss of accuracy it is enough to define the complete population of minimal incisions of the graph model of the system in correspondence with their characteristics. Given algorithm allows to estimate functional stability of the obtained system quite expeditiously.

Keywords: *functional stability; data transmission system; minimal section of the graph*

Киреенко В.В., Дзюбенко Ю.А., Опенько П.В.

Національний університет оборони України, Київ

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ СВЯЗНОСТИ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ПОИСКА МИНИМАЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ ГРАФОВ

Статья посвящена построению функционально устойчивой системы передачи данных. Ввиду характера иерархического построения системы передачи данных исследования проводились с помощью графовой модели, а именно рассматривались вопросы построения оптимально связных структур. Математической моделью функционально устойчивой системы передачи данных представлена в виде неориентированного графа с надежными вершинами и ненадежными ребрами. Также было показано, что при заданном количестве вершин и ребер, разным вероятностям существования ребра могут соответствовать разные оптимальные структуры графа. Для анализа функциональной устойчивости системы передачи данных предложен вероятностный показатель, который вычисляется с учетом характеристик множественного числа минимальных разрезов графовой модели. Предложен оптимальный алгоритм в процессе выбора топологии функционально устойчивой системы передачи данных. Алгоритм основывается на использовании целевой функции минимального разреза графа, который позволяет определить минимальное число каналов, отказ которых влияет на процесс передачи данных между потребителями. Показано, что алгоритм целесообразно использовать в ходе решения задачи оптимизации топологии сети на этапе проектирования за предложенным показателем, который определяет множественное число минимальных разрезов граф-модели и значения их характеристик. Там же было показано, что для приближенной оценки функциональной устойчивости системы передачи данных с незначительной потерей точности достаточно определить полную совокупность минимальных разрезов граф-модели системы в соответствии с заданными характеристиками. Представленный алгоритм позволяет достаточно оперативно оценить функциональную устойчивость полученной системы, а также позволяет относительно оперативно получить оценку функциональной устойчивости системы.

Ключевые слова: *функциональная устойчивость; система передачи данных; минимальный разрез графа.*

Вступ

В теперішній час значна кількість робіт присвячена розвитку теоретичних та практичних аспектів вирішення задач підвищення ефективності проектування, побудови надійних розподілених мереж передачі даних. До рішення зазначених задач застосовуються різні підходи оцінювання якості, надійності та відмовостійкості розподілених мережевих

структур, які включають аналіз та синтез топології мережі в умовах впливу внутрішніх та зовнішніх дестабілізуючих факторів.

Дослідження існуючих науково-обґрунтованих підходів [1-3] підвищення ефективності складних технічних систем, до яких повною мірою належать системи передачі даних, дозволили зробити висновок про формування за останні роки нового пріоритетного підходу, пов'язаного із забезпеченням в системі властивості функціональної стійкості.

Під функціональною стійкістю об'єкта слід розуміти його властивість зберігати в продовж заданого часу виконання своїх функцій в межах, які встановлені нормативними вимогами в умовах протидії, а також впливу потоку відмов, несправностей та збоїв [3]. Дослідження показали, що функціональна стійкість складної технічної системи поєднує властивості безвідмовності, відмовостійкості й живучості. Функціональна стійкість забезпечується застосуванням у складній технічній системі різних, вже існуючих видів надмірності (структурної, часової, інформаційної, функціональної, навантажувальної та ін.) шляхом перерозподілу ресурсів з метою парирування наслідків позаштатних ситуацій. Принциповим є те, що на етапі проектування не повинна вводитися додаткова надмірність, а парирування наслідків зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих впливів здійснюється перерозподілом уже існуючих ресурсів.

Аналіз досліджень і публікацій

Постійне зростання складності та розмірності систем передачі даних, збільшення навантаження на них в зв'язку з збільшенням об'єму трафіку, змушує приділити увагу на якість виконання процесу проектування з метою отримання оптимальної топології мережі передачі даних. [5-10].

Головною вимогою до СПД є виконання системою основної функції – забезпечення абонентів можливістю доступу до інформаційних ресурсів. Всі інші вимоги – продуктивність, надійність, точність, керованість, живучість – пов'язані з якістю виконання цієї основної задачі.

Проведений аналіз робіт [7-9]. в області проектування оптимальних топологій СПД виявив два класичних підходи до постановки задач:

- синтез мережі за критерієм мінімуму середнього часу затримки повідомлення в мережі при заданих обмеженнях на надійність та вартість;
- синтез мережі за критерієм мінімуму вартості при обмеженнях на показники надійності.

У [10] розглядалося використання структурних показників надійності зв'язності – ступінь вихідних дуг, не враховувалось імовірнісні характеристики елементів мережі – імовірності відмов вузлів мережі та каналів передачі даних. В останній час для розв'язання задач оптимізації мереж великої розмірності широко застосовуються евристичні алгоритми [11]. Складність їх застосування обумовлюється в адаптації їх параметрів. Дослідження в області структурної надійності СПД [12], якості їх функціонування, аналізу критеріїв оцінки отриманих результатів, врахування множини обмежень існуючих на практиці для задач великої розмірності майже немає.

Відповідно до цього, актуальною задачею є підвищення ефективності функціонування систем передачі даних. Вирішенню зазначеної задачі присвячена множина наукових робіт [13-15]. Отже, актуальним є розвиток даної теорії функціональної стійкості саме для систем передачі даних.

Метою статті є підвищення ефективності функціонування систем передачі даних за рахунок забезпечення властивості функціональної стійкості.

Результати дослідження. Для вирішення поставленої задачі скористаємось графовим її поданням, як найбільш поширеною та зручною формою подання структур взагалі. Будемо

рахувати, що вершинам графа відповідають вузли комутації (ВК), а ребрам графа лінії зв'язку.

Структура СПД подається у вигляді неорієнтованого графу $G(V, E)$, $v_i \in V$, $e_{ij} \in E$, $i, j = 1, \dots, N$, який описується матрицею суміжності S

$$S = \|s_{ij}\|, \quad s_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } e_{ij} \in E; \\ 0, & \text{якщо } e_{ij} \notin E. \end{cases}$$

де V – множина вершин графа; E – множина ребер графа.

У графі $G(V, E)$, вершинам графа v_i відповідають вузли комутації СПД, а ребрам графа e_{ij} – лінії зв'язку між вузлами комутації

Для СПД прийемо, що система повинна виконувати дві основні функції:

- обробку, зберігання, видача необхідної інформації;
- передача інформації між вузлами комутації.

На основі сказаного можна сформулювати основну вимогу до функціональної стійкості СПД:

1. Забезпечити працездатність всіх вузлів комутації (ВК):

$$\forall v_i \in V \Leftrightarrow \omega_i(\tau) = 1, \quad \tau \in [0, t)$$

де $V = \{v_i\}$ – множина ВК СПД; $\omega(\tau)$ – бульова функція, яка приймає значення 1, якщо ВК знаходиться в працездатному стані та 0 – в протилежному випадку; τ, t – поточний час експлуатації.

2. Забезпечити передачу інформації по основним або резервним маршрутам:

$$\forall v_i, v_j \Leftrightarrow \exists v_j \in \Gamma_i, \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

де Γ_i – множина досяжних вершин графу з вершини v_i ; n – число ВК в СПД.

Проведений аналіз праць в області функціональної стійкості та структурної надійності дозволив виділити низьку кількісних показників оцінювання структурної надійності: мінімальний розріз та імовірність зв'язності. Множина методів розрахунку імовірності зв'язності СПД, як і будь-якої іншої складної системи, поділяються на дві самостійні підмножини: точних та наближених методів розрахунку. Практичне застосування того чи іншого методу визначається постановкою задачі, ступенем точності вихідних імовірностей справності елементів СПД. Деякі точні аналітичні методи розроблені для конкретних структур систем передачі даних. Розглянуті в [10] точні методи визначення імовірності зв'язності можуть бути застосовані тільки для СПД, в яких кількість вузлів комутації менше двадцяти. При збільшенні ВК дана задача стає нереалізованою на сучасній обчислювальній техніці. Для практичної реалізації аналізу та синтезу функціонально стійкої СПД доцільно застосовувати наближені методи. Тому в статті при визначенні імовірності зв'язності використовуються наближені методи.

З огляду на сказане, для визначення імовірності зв'язності використовується метод пошуку мінімального розрізу графу (алгоритм Штор-Вагнера) [11]. Робота алгоритму починається з того, що на вхід алгоритму подаємо матрицю суміжності неорієнтованого зв'язного графу. Результатом роботи алгоритму є глобальний розріз, тобто множина ребер графу з мінімальною сумарною вагою, видалення (пошкодження) будь-якого ребра поділяє граф на два незв'язних між собою підграфа. На кожній ітерації ми маємо дві множини вершин графу G : множину вершин, які входять у деяку підмножину A та множина решти

вершин. За допомогою алгоритму Штор-Вагнера знаходиться розріз між ними. Отриманий розріз заносимо до множини локальних мінімальних розрізів з яких в подальшому обирається глобальний мінімальний розріз.

На початку роботи алгоритму в матриці суміжності C графу G усім ребрам присвоюємо вагу $w_{et} = 1, t = 1, \dots, m$. Алгоритм Штор-Вагнера реалізує $(n-1)$ ітерацію, кожна з яких складається з наступних послідовних кроків:

Блок схема алгоритму Штор-Вагнера представлена на рис. 1

1 крок. Вводимо допоміжну множину вершин A , яке на l -ому кроці є порожнім: $A = \emptyset$

2 крок. Додаємо до множини A одну довільну вершину графу G , наприклад $i, i \in \{1, n\}: A = A \cup \{i\}$

3 крок. Знаходимо сумарну вагу W ребер, які поєднують вершини множини A з всіма іншими вершинами графу: $W = \sum_{i \in A} \sum_{j \notin A} w_{ij}$

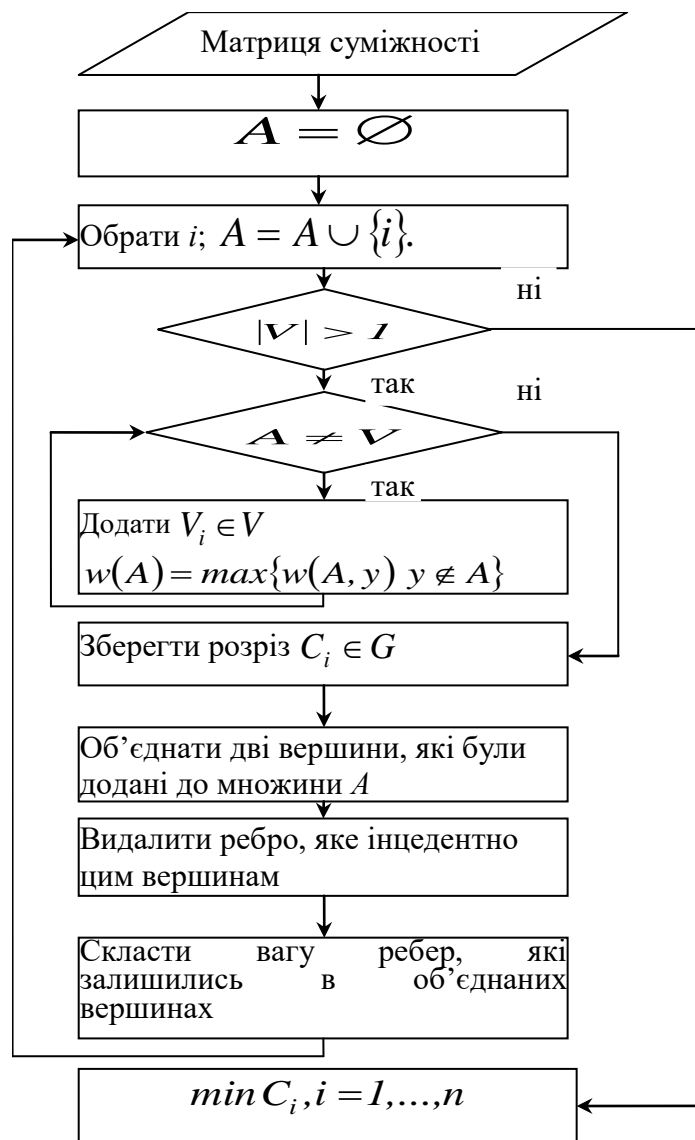


Рис. 1. Блок схема алгоритму Штор- Вагнера

4 крок. Знаходимо вершину K , яка не входить до множини A , та яка має максимальну сумарну вагу ребер від неї до вершин, як входять до множини A , тобто $\sum_{i \in A} w_{ik} = \max_{j \neq A} \sum_{i \in A} w_{ij}$. Додаємо вершину k до множини A .

5 крок. Повторюємо кроки 3 та 4 до тих пір, поки множина A не стане дорівнювати множині V графу $G: A = V$.

6 крок. Об'єднуємо дві додані вершини до множини A останньою та передостанньою, до одної. При цьому видаляється ребро інцидентне цим вершинам та перераховуємо значення ваги ребер, які утворюються при злитті вершин. Записуємо значення сумарної ваги ребер (потужність розрізу) до множини локальних резервів. Розріз запам'ятовується в деяку проміжну множину S .

7 крок. Повторюємо кроки 2-6 до тих пір, поки на $(n-1)$ ітерації граф G не буде складатися з однієї вершини.

8 крок. Обираємо з множини локальних мінімальних розрізів S найменший розріз, який буде оцінкою структурної зв'язності СПД.

Мінімальний розріз графу є мінімальна множина каналів, відмова яких веде до розділу графу на два незв'язних сегмента, між якими порушена передача радіолокаційної інформації. Для графа, представленого на рис. 2 значення мінімального розрізу Min Cut G дорівнює 2. Це відповідає трьом розрізам $\{e_2, e_{10}\}$; $\{e_4, e_{11}\}$; $\{e_9, e_{12}\}$.

Тоді запишемо $S_i = \{e_{i1}, \dots, e_{ik}\}$ - i -мінімальний розріз графа $G, i=1, \dots, C_s, C_s$ - кількість мінімальних розрізів, $k = \|S_{ij}\|$ - потужність мінімального розрізу.

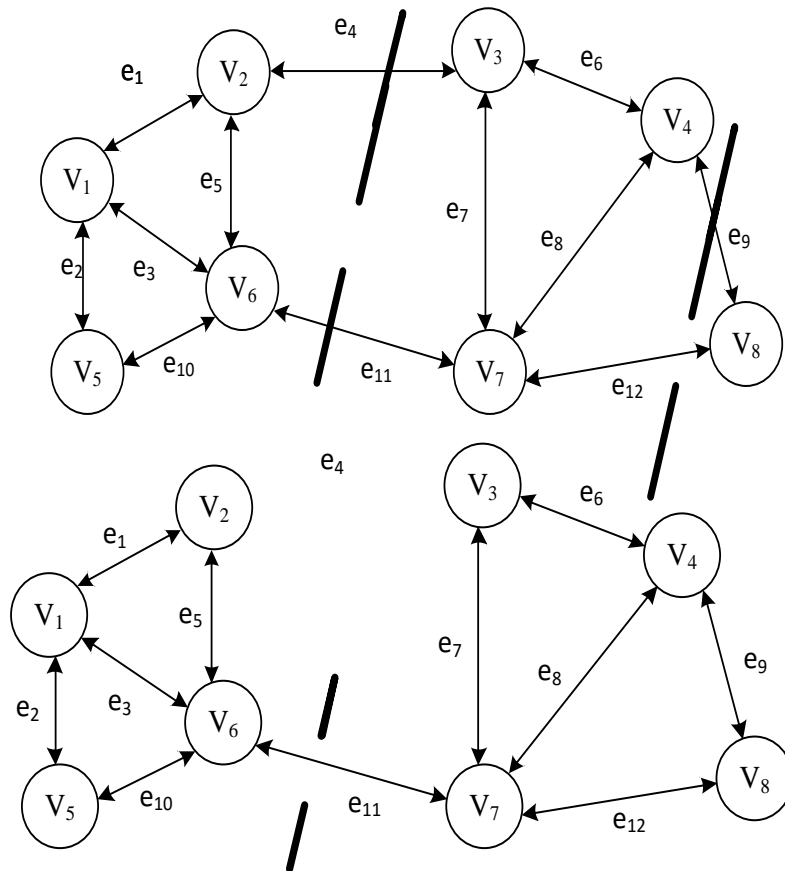


Рис. 2. Мінімальний розріз графів

Для графів представлених на рис. 2. розріз Min Cut G дорівнює відповідно 2 та 1.

Враховуючи характеристики ребер розрізу, потужність k представляє собою значення цих характеристик; $S = \{S_1, \dots, S_{c_s}\}$ - множина мінімальних розрізів графу G , де $c_s \geq 1$; $U_s = S_1 \cup, \dots, \cup S_{c_s}$ - множина ребер, які утворюють всі мінімальні розрізи, знайдені на i -й ітерації, де $U_M \subset U_S : H^+$ - множина всіх підмножин ребер, які входять в знайдені в i -й ітерації мінімальні розрізи; H - множина всіх підмножин ребер, які були розглянуті.

Розглянемо роботу алгоритму визначення розрізів граф-моделі структури системи та їх характеристик. Припустимо, вага ребра $w_{ei} = 1, \forall i, \dots, m$ в матриці суміжності C графа G .

Методика визначення функціональної стійкості на основі методу пошуку мінімального розрізу графа складається з наступних кроків та наведена на рис 3.

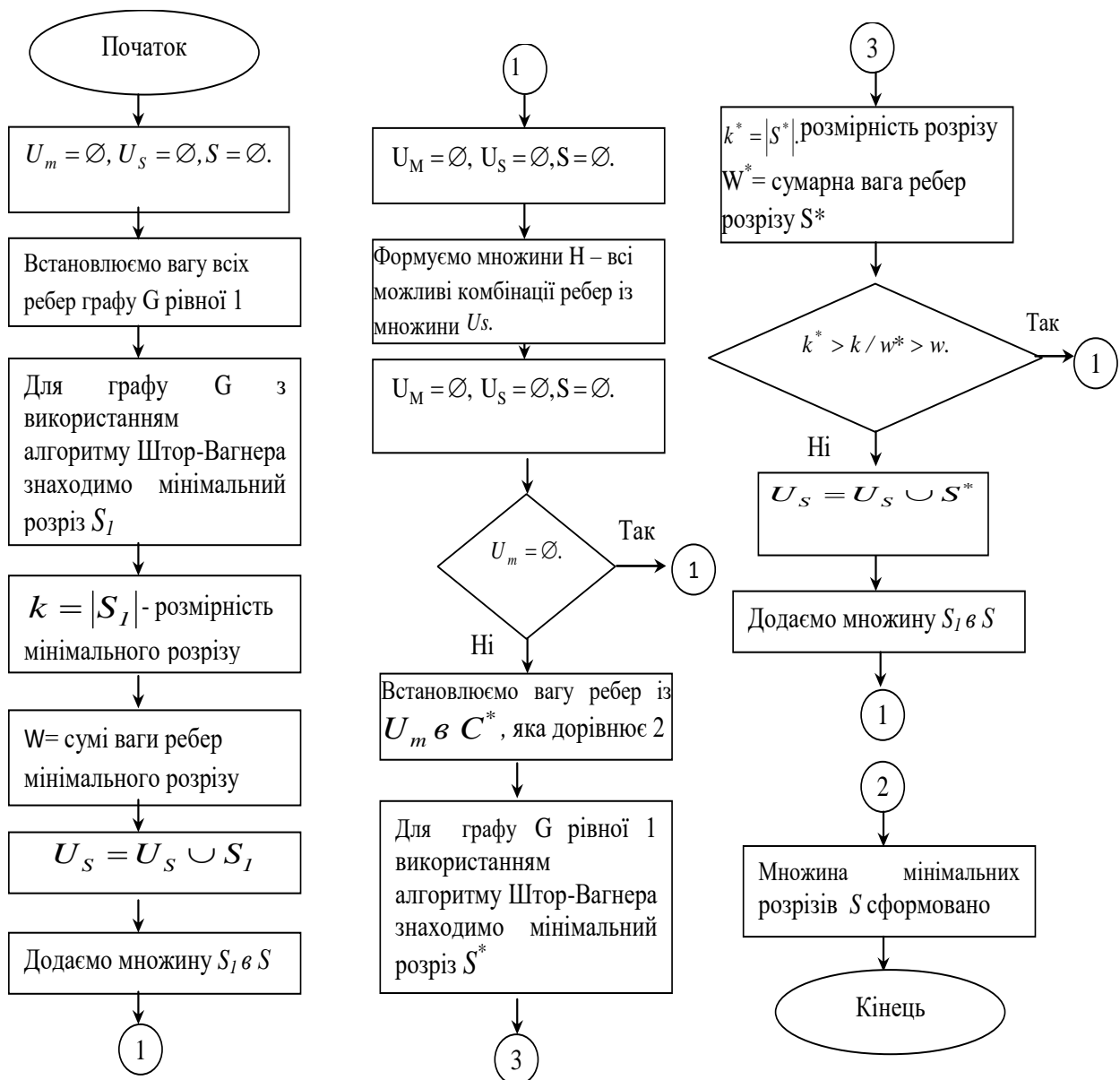


Рис. 3. Блок схема методики визначення мінімального розрізу

1. $U_M = \emptyset, U_S = \emptyset, S = \emptyset$.

2. За допомогою алгоритму Штор-Вагнера отримуємо мінімальний розріз S_I графа,

$S_1 \subset E$, запам'ятовуємо його потужність $k = \|S_{ij}\|$, а також сумарну вагу ребер $W = \sum_{e_i \in S_1} w_{e_i}$, $W = k$. Збережемо ребра мінімального розрізу у множині $U_S = S_1 = \{e_{i_1}, \dots, e_{i_k}\}$.

Вводимо мінімальний розріз S_1 в множину мінімальних розрізів $S: S = S \cup S_1$.

3. Створити копію C^* матриці суміжності C графа G .

4. До множини H^+ додамо всі можливі комбінації ребер із множини $U_S = \{e_{i_1}, \dots, e_{i_q}\}$, $H^+ = \{\{e_{i_1}\}, \{e_{i_2}\}, \dots, \{e_{i_q}\}, \{e_{i_1}, e_{i_2}\}, \{e_{i_1}, e_{i_3}\}, \dots, \{e_{i_1}, \dots, e_{i_q}\}\}$, де $q = |U_S|$. Тоді $|H^+| = r$, де r визначається за виразом $r = 2^q - 1$.

5. В множину U_M додамо першу комбінацію ребер множини H^+ , $U_M = U_M \cup \{e_{i_1}\}$, відповідно, виключив її з H^+ . Якщо множина $H^+ = \emptyset$, тоді переходимо до кроку 13.

6. Відмічаємо ребра, які створюють множину U_M , щоб виключити повторне знаходження раніш знайдених мінімальних розрізів. Для цього в матриці суміжності C^* елементам, які відповідають ребрам множини U_M , призначимо вагу, яка дорівнює двом. Граф, відповідний C^* позначимо G .

7. В графі G^* застосуємо алгоритм Штор-Вагнера та знайдемо черговий мінімальний розріз S^* , $S^* \subset E$.

8. Визначимо потужність отриманого мінімального розрізу $k^* = |S^*|$ та сумарну вагу його ребер $W^* = \sum_{i \in S^*} w_i^*$.

9. Якщо $k^* > k$ або $W^* > W$, переходимо до кроку 3.

10. Інакше додаємо знайдений мінімальний розріз S^* в множину мінімальних розрізів $S, S = S \cup S^*$.

11. Додаємо в множину U_S новими ребрами із множини S^* , $U_S = U_S \cup S^*$

12. Перехід до кроку 3.

13. Множина мінімальних розрізів S сформовано.

Загальна блок-схема удосконаленої методики оцінювання функціональної стійкості СПД представлена на рис 4

Визначив множину мінімальних розрізів за формулою

$$Q(G, p) = N_1 p + N_2 p^2 + \dots + N_{m-1} p^{m-1}$$

Визначаємо значення імовірності зв'язності, котре характеризує показник функціональної стійкості структури СПД.

Таким чином, при побудові структури СПРІ можливо оцінити різні топології структури за веденим показником, який визначає множину мінімальних розрізів граф-моделі СПРІ.

Пошук мінімального розрізу графа можна здійснювати за допомогою алгоритмів Штор-Вагнера, Каргера або Форда-Фалкерсона. Проведений порівняльний аналіз даних алгоритмів показав, що алгоритм Штор-Вагнера має кращі швидкісні характеристики з обчислення мінімального розрізу (рис. 4), що є суттєвою вимогою під час активної перебудови топології СПД засобами маршрутизації у випадку різного характеру впливів.

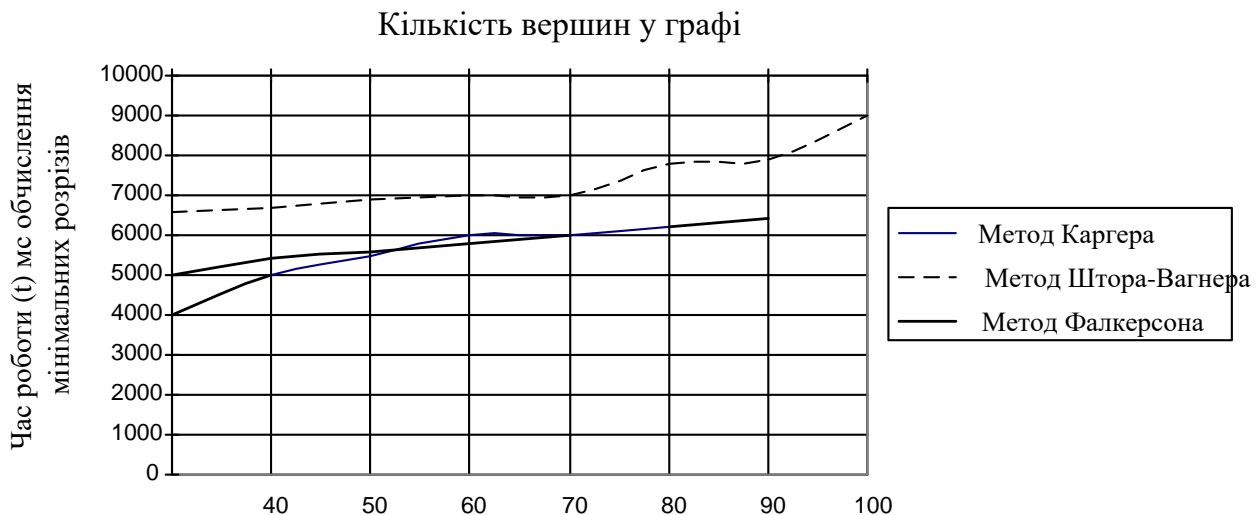


Рис. 4. Порівняльний аналіз результатів розрахунків алгоритмів

Запропонований імовірнісний показник для оцінювання функціональної стійкості СПД, який визначається мінімальною кількістю розрізів граф-моделі з найбільшою імовірністю відмови, дозволяє локалізувати найбільш вразливі ділянки в топології мережі. Слід також зауважити, що якщо необхідно оцінити вразливість СПД в процесі її функціонування при наявності станів відмов каналів та їх відновлення, в такому випадку необхідний постійний моніторинг станів мережі для визначення мінімального розрізу активної конфігурації топології мережі та перерозподіл навантаження між каналами.

Аналіз активної конфігурації мережі дозволяє прогнозувати критичний стан, коли внаслідок впливу внутрішніх та зовнішніх дестабілізуючих факторів на канали передачі існує потенційна загроза відмови всієї мережі або її частини. Практична реалізація алгоритму пошуку критичних місць в мережі дозволить суттєво підвищити функціональну стійкість мережі.

Висновки

1. Використання в якості показника надійності в ході проектування топології СПД мінімального розрізу графу в порівнянні з таким показником, як мінімальна ступінь вихідних дуг графу, в загальному випадку дозволяє підвищити функціональну стійкість топології мережі. Підвищення значення показника мінімального розрізу графу впливає на збільшення можливих маршрутів доставки інформаційних пакетів та відповідно підвищує функціональну стійкість системи передачі даних, а також зменшує імовірність ізоляції окремих вузлів мережі.

2. Визначення мінімальних розрізів в СПД дозволяє визначити слабкі місця в структурі мережі. Крім того мінімальний розріз відповідає ділянці мережі з мінімальною пропускнуою спроможністю

3. Запропонована методика визначення функціональної стійкості на базі алгоритму Штор-Вагнера, дозволяє визначити множину мінімальних розрізів граф-моделі СПД та їх характеристики. Особливістю методики є можливість її використання для перебудови топології мережі з метою забезпечення функціональної стійкості. СПД.

Список використаної літератури

1. Додонов А.Г. Живучесть информационных систем / А.Г. Додонов, Д.В. Ландэ – К.: Наук. думка, 2011. – 256 с.
2. Баранов Г. Л. Структурное моделирование сложных динамических систем / Г. Л. Баранов, А. В. Макаров. – К.: Наукова думка, 1986. – 272 с.
3. Барабаш О.В. Забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем / О.В.Барабаш, Б.В. Дурняк, О.А. Машков та ін. Моделювання та інформаційні технології: Зб. наук. праць. К.: Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2012. 64. С. 36–41.
4. Bobbio A. et al. Improving the analysis of dependable systems by mapping fault trees into Bayesian networks / A. Bobbio, L. Portinale, M. Minichino – Reliability Engineering & System Safety. 2001. 71. P. 249–260.
5. William Stallings. Operating Systems – Internals and Design Principles, 7th Edition. Prentice Hall, 2011. 816 p. ISBN 013230998X.
6. Шубинский И.Б. Структурная надежность информационных систем. Методы анализа. Ульяновск: Областная типография Печатный двор, 2012. 216 с.
7. Можяева И.А., Нозик А.А., Струков А.В. Современные тенденции структурно-логического анализа надежности и кибербезопасности АСУТП. http://www.szma.com/mabr2_2015.pdf
8. Столлингс В. Передача данных / В. Столлингс – 4-е изд. – Спб.: Питер, 2004. – 750 с.
9. Зайченко Ю.П. Структурная оптимизация сетей ЭВМ / Ю.П. Зайченко, Ю.В. Гонта – К.: Техника, 1986. – 167 с.
10. Stoer M., A simple min-cut algorithm / M. Stoer , F. Wagner // Journal of the ACM. 1997.– Vol. 44, No. 4. Pp.– 585-591.
11. Князева Н. А. Алгоритмы оценки структурной живучести инфокоммуникационной сети / Н. А. Князева Сучасні інформаційно-комунікаційні технології. VIII наук.- техн. конф.: збірник тез. – К.: 2012. – С. 192–193.
12. Королев А.В., Адаптивная маршрутизация в корпоративных сетях / А.В. Королёв, Г.А. Кучук, А.А. Пашнев – Х.: ХВУ, 2003. – 224 с
13. Олифер В.Г., Компьютерные сети. Принципы технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер – С.-Пб.: Питер, 1999. – 668 с.
14. Максименко А. Н. Графы многогранников и сводимость задач комбинаторной оптимизации / А. Н. Максименко. – Ярославль: ЯГУ, – 2004. – 92 с.
15. Трофимчук А.Н. Компьютерное моделирование иерархической структуры коммутационной сети с дискретными многопродуктовыми потоками / А.Н Трофимчук., В.А. Васянин УСиМ. 2016. № 2. С. 48–57.

References

1. Dodonov A.G., Lundy D.V. (2011), *“The survivability of information systems”*, Sciences Opinion: 256. Print
2. Baranov, G.L., Makarov A.V. (1986), *“Structural modeling of complex dynamical systems”* Scientific Thought: 272. Print
3. Barabash O.V. (2004), *“Building functionally stable distributed information systems”* K., NAOU: 226. Print

4. William Stallings, (2011), “*Operating Systems – Internals and Design Principles*”, 7th Edition. Prentice Hall, ISBN 013230998X: 816. Print
5. Shubinsky I.B. (2012) “*Structural reliability of information systems. Methods of analysis.*” Ulyanovsk: Regional Printing House Print Yard: 216.
6. Mozhaeva I.A., Nozik A.A., Strukov A.V. “Current trends in structural and logical analysis of the reliability and cybersecurity of ACMS”, http://www.szma.com/mabr2_2015.pdf.
7. Stollings V. “Data Transfer” 4th ed. (2004), *St. Petersburg: Peter*: 750. Print
8. Zaichenko Yu.P, Gonta Yu.V. (1986), “*Structural optimization of computer networks*” K., Engineering: 167. Print.
9. Stoer M., Wagner F. (1997), “A simple min-cut algorithm”, *Jornal of the ACM.*, Vol. 44, No. 4: 585-591. Print.
11. Knyazev N.A. (2012), “Algorithms for estimating the structural survivability of the infocommunication network”, *Modern information and communication technologies. Eighth Science - Tech. conf.: collection of abstracts.*, K:192-193. Print.
12. Korolev A.V., Kuchuk G.A., Pashnev A.A. (2003), “*Adaptive routing in corporate networks*” Kh., KhVU: 224. Print.
13. Olifer VG, (1999) , “*Computer Networks. Principles of technology, protocols*” S.-Pb., Peter: 668. Print
14. Maksimenko A.N. (2004), “*Polygraphs graphs and reducibility of combinatorial optimization problems*” Yaroslavl: YSU: 92. Print.
15. Trofimchuk A.N., Vasianin V.A (2016), “Computer simulation of a hierarchical structure of a switching network with discrete multiproduct flows “, *USiM.* 2: 48-57. Print.

Автори статті (Authors of the article)

Кіресенко Володимир Володимирович – кандидат військових наук, доцент кафедри Повітряних Сил (Kireienko Volodymyr Volodymyrovych – candidate of science (military), Associate Professor of Air Force Department). Phone.: +380 (96) 401 1592. E-mail: zrk77@ukr.net.

Дзюбенко Юрій Анатолійович – кандидат військових наук, доцент, доцент кафедри Повітряних Сил (Dziubenko Yurii Anatoliiovych – candidate of science (military), Associate Professor of Air Force Department). Phone.: +380 (67) 477 7708. E-mail: lanadzub@ukr.net.

Опенько Павло Вікторович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного відділу (Open’ko Pavlo Viktorovych – candidate of science (technic), Head of Research Department). Phone.: +380 (66) 764 5920. E-mail: pavel.openko@ukr.net.